

MAK 347 Isı Transferi Genel Sınav Soruları:

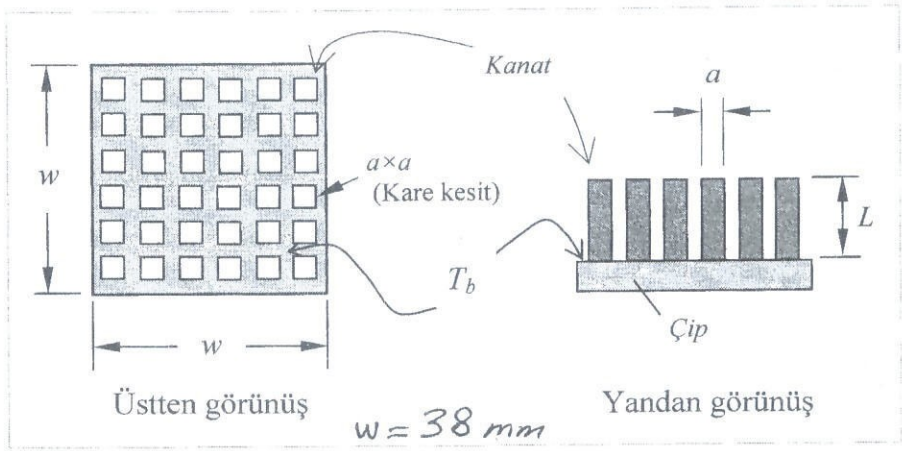
- 1) Bir sıcak su kazanının ısıtma yüzeylerinden biri 18 mm kalınlığında çelik levhadan yapılmıştır. Uzun süre kullanıldıktan sonra bu levhanın duman tarafında 3 mm kalınlığında is (kurum), su tarafında ise 5 mm kalınlığında kazan taşı (kireç taşı) birikerek tüm yüzeyi kaplamıştır. Kazan işletme sıcaklıkları; kazan yeniyken ve şimdiki halde aynı olup; kurum birikimi olan taraftaki gazların sıcaklığı 900 °C, diğer taraftaki suyun sıcaklığı ise 90 °C'dir. Buna göre, sorunun sonunda verilen değerleri kullanarak,

- a) Isı ve kazan taşı oluşmadan önce birim alandan geçen ısı miktarını hesaplayınız. (10 puan)
b) Birikintiler oluştuğundan sonraki birim alandan geçen ısı miktarını hesaplayınız. (10 puan)
c) Levhanın kazan taşı tarafındaki yüzey sıcaklığını her iki durum için hesaplayınız. (5 puan)

$k_{\text{çelik}} = 50 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, $k_{\text{is}} = 0.08 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, $k_{\text{kazan taşı}} = 0.8 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,
 $h_{\text{duman}} = 100 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, $h_{\text{su}} = 3000 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

- 2) Elektronik devre elemanı soğutmak amacıyla üzerinde, kare kesitli 36 adet kanat bulunan bir yüzey kullanılacaktır.

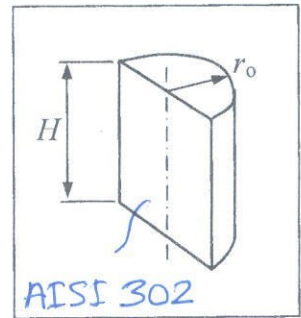
Kanatçıklar alüminyum alaşımından (Alaşım 2024-T6) yapılmış olup; kare kesitin bir kenarı $a = 4 \text{ mm}$, boyu ise $L = 20 \text{ mm}$ 'dir (Şekile bakınız). Kanatların bulunduğu levha da aynı malzemeden ve kare



şeklinde olup bir kenarı 38 mm'dir. Kanat taban sıcaklığı (levha yüzey sıcaklığı ile aynı) $T_b = 85 \text{ °C}$ ve ortam sıcaklığı da $T_{\infty} = 35 \text{ °C}$ 'dir. Taban yüzeyi ile ortam ve kanatçık yüzeyleri ile ortam arasında ısı taşınım katsayısı aynı olup, $h = 50 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ olarak verilmiştir. Buna göre kanatlı yüzeyin tamamından transfer olan ısı miktarını hesaplayınız.

- 3) İçinden 16 amper şiddetinde elektrik akımı geçen, 1 mm yarıçaplı bir telin dış yüzeyi 0.5 mm kalınlığında ve ısı iletim katsayısı $0.16 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ olan elektrik geçirmeyen bir yalıtım maddesi ile kaplanmıştır. Yalıtımın dış yüzeyi atmosfere açık olup yüzeyde taşınım katsayısı $25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ve atmosfer sıcaklığı 35 °C 'dir. Telin birim boyunun elektriksel direnci 0.12 ohm/m 'dir. Buna göre yalıtım maddesinin iç yüzey sıcaklığını ve telin merkez sıcaklığını hesaplayınız. (25 puan)

- 4) Şekli yanda görülen; orta düzlemden boyuna kesilmiş yarım silindirik çelik parçalar 350 °C sıcaklıktaki bir fırında ısıtılarak sıcaklıkları 25 °C 'den 225 °C 'ye çıkartılacaktır. Kullanılan paslanmaz çeliğin işlem sıcaklıkları için ortalama ısı iletim katsayısı $k = 10 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, parçanın boyu $H = 40 \text{ mm}$ ve yarıçapı $r_o = 20 \text{ mm}$ 'dir. Fırın atmosferi ile parça yüzeyi arasında ısı taşınım katsayısının $h = 200 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ve parçanın bütün yüzeyinden ısı transferi olduğu kabulüne göre,



- a) Bir parçanın fırında kalma süresini hesaplayınız. (15 puan)
b) Bu süreyi yarıya indirmek için fırın içindeki sıcaklık kaç °C olmalıdır? (10 p.)

$\rho = 8055 \text{ kg/m}^3$
 $C_p = 480 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

M. Aygün

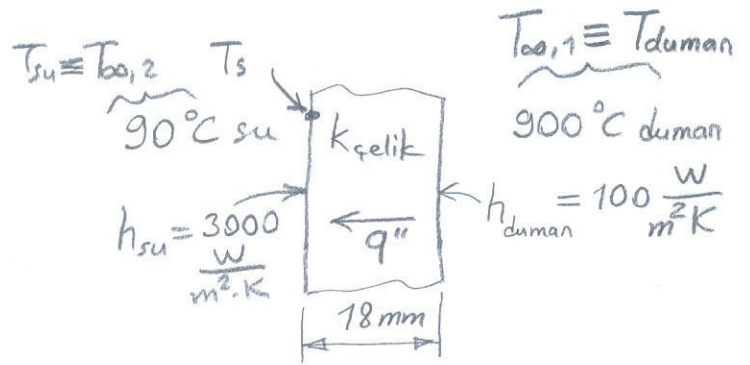
1) a)

$$q_I'' = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{\frac{1}{h_{duman}} + \frac{L}{k_{çelik}} + \frac{1}{h_{su}}}$$

$$q_I'' = \frac{900 - 90}{\frac{1}{100} + \frac{0,018}{50} + \frac{1}{3000}}$$

$$q_I'' = \frac{810}{0,01 + 3,6 \times 10^{-4} + 3,333 \times 10^{-4}} = \frac{810}{0,01069} = 75771,7$$

$$q_I'' \approx 75772 \text{ W/m}^2$$



Temiz durumda geçen ısı.

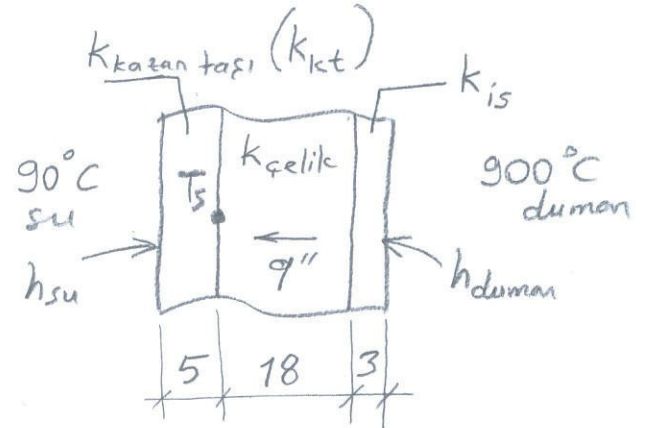
b)

$$q_{II}'' = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{\frac{1}{h_{duman}} + \frac{L_{kt}}{k_{kt}} + \frac{L_{çelik}}{k_{çelik}} + \frac{L_{is}}{k_{is}} + \frac{1}{h_{su}}}$$

$$q_{II}'' = \frac{900 - 90}{0,01 + \frac{9005}{0,8} + 3,6 \times 10^{-4} + \frac{0,003}{0,08} + 3,333 \times 10^{-4}}$$

$$q_{II}'' = \frac{810}{0,01 + 6,25 \times 10^{-3} + 3,6 \times 10^{-4} + 0,0375 + 3,333 \times 10^{-4}} = \frac{810}{0,05444}$$

$$q_{II}'' = 14878,77 \Rightarrow q_{II}'' \approx 14879 \text{ W/m}^2$$



c) Temiz halde $T_s = ?$ $q_I'' = h(T_s - T_{su}) \Rightarrow T_s = \frac{q_I''}{h} + T_{su}$

$$T_s = \frac{75772}{3000} + 90 \Rightarrow T_s = 115,26 \text{ °C}$$

Kirli halde $T_s = ?$

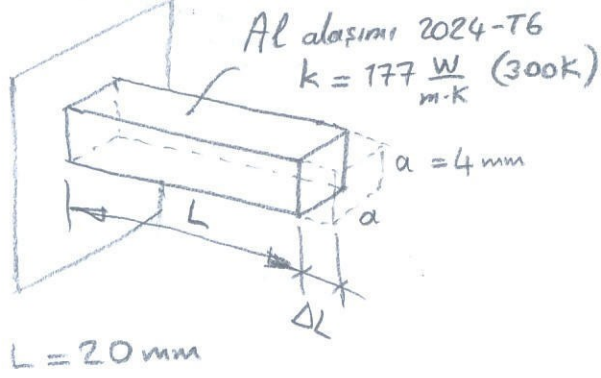
$$q_{II}'' = \frac{T_s - T_{su}}{\frac{L_{kt}}{k_{kt}} + \frac{1}{h_{su}}} \Rightarrow T_s = T_{su} + q_{II}'' \left(\frac{L_{kt}}{k_{kt}} + \frac{1}{h_{su}} \right)$$

$$T_s = 90 + 14879(6,25 \times 10^{-3} + 3,333 \times 10^{-4})$$

$$T_s \approx 188 \text{ °C}$$

2) Kanatlı yüzey, 36 kanat ve tabandan geçen ısının toplamı?

Bir kanattan geçen ısı:



Kare kesitli kısa kanat,

ΔL kadar uzatarak ucu yalıtılmış kanat formülleri uygulanabilir.

$$a^2 = 4a(\Delta L) \Rightarrow \Delta L = \frac{a^2}{4a} = \frac{a}{4}$$

$$L_c = L + \Delta L = 20 + \frac{4}{4} = 21 \text{ mm}$$

Adyabatik ucu (yalıtılmış ucu) kanattan geçen ısı:

$$q_f = M \tanh(mL) = \sqrt{hPkA_c} \theta_b \tanh(mL_c) \quad \left(\begin{array}{l} \text{Denklemler 3.76} \\ \text{Sayfa 125} \end{array} \right)$$

$$m = \sqrt{\frac{hP}{kA_c}} \quad P = 4a \quad A_c = a^2 \quad \frac{P}{A_c} = \frac{4a}{a^2} = \frac{4}{a}$$

$$m = \sqrt{\frac{50 \cdot 4}{177 \cdot 0,004}} = \sqrt{282,49} = 16,81$$

$$q_f = \sqrt{50 \cdot (4 \cdot 0,004) \cdot 177 \cdot (0,004)^2} \cdot (85 - 35) \tanh(16,81 \cdot 0,021) \quad \begin{array}{l} 0,35301 \\ 0,33904 \end{array}$$

$$q_f = \sqrt{2,2656 \times 10^{-3}} \cdot 50 \cdot 0,33904 = 0,807 \text{ W}$$

$$36 \text{ kanattan geçen ısı} : 36 \cdot 0,807 \Rightarrow q_{f,36} = 29,05 \text{ W}$$

Kanatsız taban alanından geçen ısı:

$$q_b = hA_b(T_b - T_\infty) = h(w^2 - 36a^2)\theta_b \quad (A_b = w^2 - 36a^2)$$

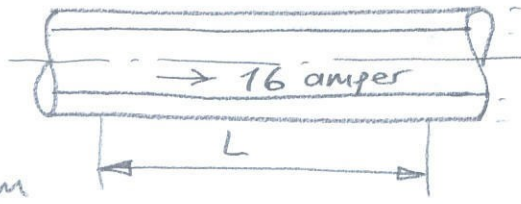
$$q_b = 50(0,038^2 - 36 \cdot 0,004^2) \cdot (85 - 35) = 50 \cdot (8,68 \times 10^{-4}) \cdot 50$$

$$q_b = 2,17 \text{ W}$$

$$\text{Kanatlı yüzeyden geçen toplam ısı} \quad q_t = q_{f,36} + q_b = 29,05 + 2,17$$

$$q_t = 31,22 \text{ W}$$

3)



Elektrik yalıtımı
($k_y = 0,16 \frac{W}{mK}$)

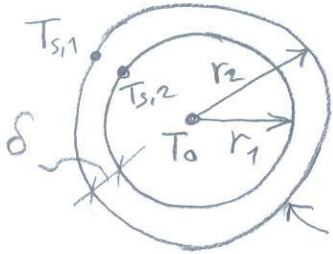
Bakır tel

($k_{Cu} = 401 \frac{W}{mK}$ 300K için)
(Gizelge A1, sayfa 895)

$\delta = 0,5 \text{ mm}$

$r_1 = 1 \text{ mm}$

$r_2 = r_1 + \delta = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ mm}$



$h = 25 \frac{W}{m^2K}$

$T_{\infty} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$

$T_{s,1} = ?$

$R'_e = 0,12 \text{ ohm/m}$

$T_{s,2} = ?$

$T_0 = ?$

Telin birim boyunda ortaya çıkan ısı ($q'_{ıs}$) = $P = I^2 \cdot R'_e$

$P = q' = 16^2 \cdot 0,12 = 30,72 \text{ W/m}$

Bu aynı zamanda $q' = h A' (T_{s,1} - T_{\infty})$ olmalıdır (sürekli rejim).

$A = 2\pi r_2 \cdot L \Rightarrow A' = \frac{A}{L} = 2\pi r_2$ (Birim boyunda dış yüzey alanı)

$T_{s,1} = \frac{q'}{h \cdot 2\pi r_2} + T_{\infty} = \frac{30,72}{25 \cdot 2\pi \cdot 0,0015} + 35 = 130,38 + 35$

$T_{s,1} \approx 165,4 \text{ } ^\circ\text{C}$

Yalıtımın iç ve dış yüzey sıcaklıkları arasında:

$q = \frac{2\pi k_y L (T_{s,2} - T_{s,1})}{\ln(\frac{r_2}{r_1})} \Rightarrow q' = \frac{q}{L} = \frac{2\pi k_y (T_{s,2} - T_{s,1})}{\ln(\frac{r_2}{r_1})}$

$T_{s,2} = \frac{q' \cdot \ln(\frac{r_2}{r_1})}{2\pi k_y} + T_{s,1} = \frac{30,72 \cdot \ln(\frac{1,5}{1})}{2\pi \cdot 0,16} + 165,4 = \frac{12,4559}{1,0053} + 165,4$

$T_{s,2} = 12,39 + 165,4 \Rightarrow T_{s,2} = 177,79 \text{ } ^\circ\text{C} \Rightarrow T_{s,2} \approx 178 \text{ } ^\circ\text{C}$

İçinde ısı üretimi olan telin yüzey sıcaklığı (burada $T_{s,2}$) bilindiğinde merkez sıcaklığı:

$T(r) = \frac{q' r_0}{4k} (1 - \frac{r^2}{r_0^2}) + T_s$ $q = \frac{q}{V} = \frac{q' L}{\pi r_0^2 L} = \frac{q'}{\pi r_0^2}$ (Burada r_0 telin yarıçapıdır. Yukarıda r_1 denilmiştir)

3 - Devam)

Telin merkez sıcaklığı $r=0$ 'daki sıcaklıktır. Dolayısıyla:

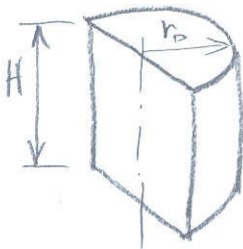
$$T(r=0) = T_0 = \frac{\dot{q} r_0^2}{4k} + T_{s,2} \quad \Rightarrow \quad T_0 = \frac{\dot{q} r_1^2}{4k} + T_{s,2}$$

$$\dot{q} = \frac{q'}{\pi r_1^2} \quad \text{yerine yazılırsa:} \quad T_0 = \frac{q' r_1^2}{4k \pi r_1^2} + T_{s,2}$$

$$T_0 = \frac{q'}{4\pi k} + T_{s,2} = \frac{30,72}{4 \cdot \pi \cdot 401} + 178 = \frac{30,72}{5,039} + 178$$

$$T_0 = 0,0061 + 178 = 178,0061 \quad \Rightarrow \quad \boxed{T_0 \approx 178,01^\circ\text{C}}$$

4)



$$H = 40 \text{ mm}$$

$$r_0 = 20 \text{ mm}$$

$$L_c = \frac{V}{A_s} = \frac{\text{Cismin hacmi}}{\text{Cismin ısı transferi yüzey alanı}}$$

$$L_c = \frac{(\pi r_0^2 H / 2)}{(H \cdot 2r_0) + 2 \left(\frac{\pi r_0^2}{2}\right) + \frac{2\pi r_0 H}{2}} = \frac{\pi r_0 / 2}{2 + \frac{\pi r_0}{H} + \pi}$$

$$L_c = \frac{(r_0 / 2)}{\frac{2}{\pi} + \frac{r_0}{H} + 1} = \frac{(0,020 / 2)}{\frac{2}{\pi} + \frac{0,020}{0,040} + 1} = \frac{0,010}{\frac{2}{\pi} + 1,5} = \frac{0,010}{2,137}$$

$$\boxed{L_c = 4,68 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$Bi = \frac{h L_c}{k} = \frac{200 \cdot 4,68 \times 10^{-3}}{10} = 0,0936 < 0,1 \quad \text{Sıcaklık basamağı yok.}$$

$$a) \quad t = \frac{\rho V c}{h A_s} \ln \frac{\theta_i}{\theta} = \frac{\rho L_c c}{h} \ln \frac{T_i - T_\infty}{T - T_\infty} \quad \left(\begin{array}{l} \text{Denklemler 5.5} \\ \text{Sayfa 227} \end{array} \right)$$

$$t = \frac{8055 \cdot 4,68 \times 10^{-3} \cdot 480}{200} \ln \frac{25 - 350}{225 - 350} = \frac{18094,75}{200} \ln \frac{-325}{-125} = 90,47 \cdot \ln(2,6)$$

$$t = 86,445 \text{ s} \quad \Rightarrow \quad \boxed{t \approx 86,4 \text{ s}}$$

$$b) \quad t = \frac{86,4}{2} = 43,2 \text{ s olması için } T_\infty = ? \quad \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-\frac{h A_s}{\rho V c} \cdot t}$$

$$\frac{225 - T_\infty}{25 - T_\infty} = \exp\left(-\frac{200 \cdot 43,2}{8055 \cdot 4,68 \times 10^{-3} \cdot 480}\right) = 0,62034 \Rightarrow \frac{225 - T_\infty}{25 - T_\infty} = 0,62$$

$$225 - T_\infty = 0,62(25 - T_\infty) \Rightarrow T_\infty - 0,62 T_\infty = 225 - 15,5$$

$$0,38 T_\infty = 209,5 \Rightarrow \boxed{T_\infty \approx 551^\circ\text{C}}$$